

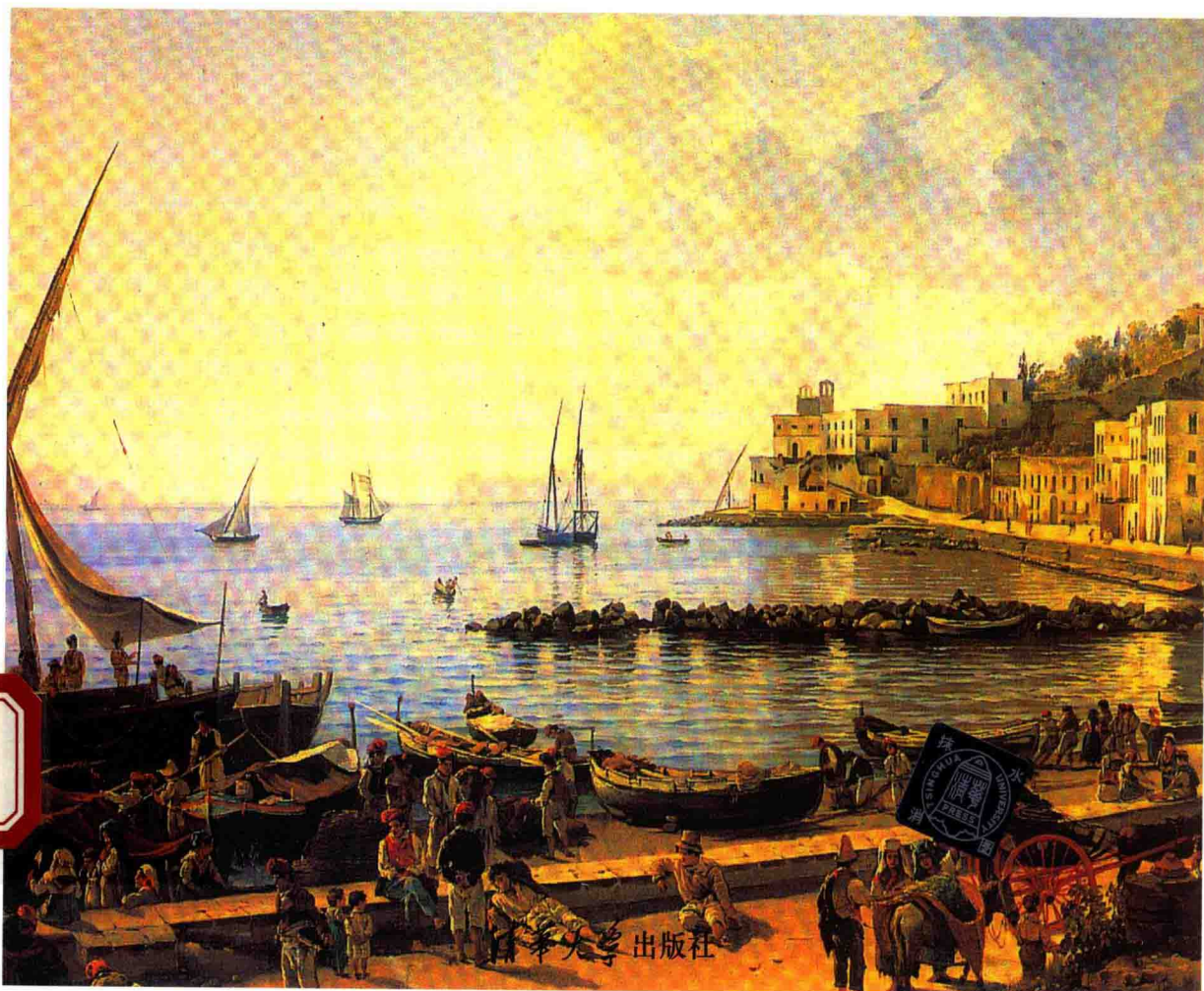
金融学系列
经济管理精品教材

21
世纪

金融量化分析

以MATLAB为工具

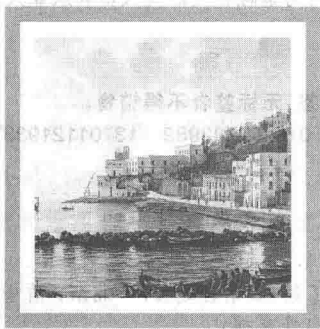
黄治蓉 编著



清华大学出版社

21
世纪

经济管理精品教材
金融学系列



金融量化分析

以MATLAB为工具

黄治蓉 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

随着量化投资浪潮以及金融大数据时代的到来,金融量化分析显得日益重要。本书在整合金融理论、模型与方法以及编程的基础上系统阐述如何借助 MATLAB 软件高效实现一系列金融量化分析模型与方法,深入探讨如何运用模型、方法与技术分析我国金融交易数据和解决我国金融的实际问题。本书的主要内容包括 MATLAB 操作与编程基础、金融数据基础分析、金融收益分布特征、金融数据高级统计分析、金融时间序列分析与建模、金融波动率预测模型、组合优化与资产定价模型、市场有效性与事件研究以及金融时间序列的长记忆性等。所有量化分析均提供相应的 MATLAB 代码。本书不仅可用作研究生、高年级本科生的课程教材,还可为金融相关研究人员和从业人员进行金融量化分析提供参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

金融量化分析:以 MATLAB 为工具/黄诒蓉编著. —北京:清华大学出版社,2018
(21 世纪经济管理精品教材·金融学系列)
ISBN 978-7-302-49096-8

I. ①金… II. ①黄… III. ①Matlab 软件—应用—金融—算法分析—高等学校—教材
IV. ①F83

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 302195 号

责任编辑:陆浥晨

封面设计:李召霞

责任校对:王凤芝

责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:21.25 字 数:475 千字

版 次:2018 年 2 月第 1 版 印 次:2018 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:49.00 元

产品编号:063411-01



前言

随着统计和计量理论与方法在过去几十年的发展,尤其是近几年量化投资在我国金融实务界的迅速兴起,以及金融大数据时代的到来,金融量化分析技术在我国未来的金融研究和应用中将发挥越来越重要的作用。

金融理论、模型与方法,以及编程是金融量化分析不可或缺的三大基础。但是,在过去近十年的教学和研究中,我们发现,目前国内这三块内容在金融、统计与计量、计算机等领域均分开独立论述,对它们之间的有机联系缺乏系统阐述。鉴于此,我们尝试将三块内容整合起来,让读者可以快速、直观地把握如何运用模型与方法来解决金融实际问题,并且通过软件操作高效实现其算法。我们期望通过这项研究能促进金融量化分析技术的发展与应用,也期望能进一步推动金融量化分析课程的开发建设与教学质量的提高。

MATLAB是集数据处理、图形绘制、数值计算、专业工具箱和算法编程为一体的优秀软件,在数学、金融工程等领域取得了广泛应用。MATLAB在金融量化分析方面表现甚佳,深受广大金融研究者和金融实务从业者的青睐。因此,本书选择MATLAB作为金融量化分析的编程语言。

本书涵盖以下三个方面的内容:一是系统阐述金融量化分析的常用模型、方法与技术,涵盖金融模型、统计、计量、时间序列等领域;二是为这些模型、方法与技术的实现提供MATLAB源代码,真正体现抽象难懂的模型、方法与技术的实操性;三是将这些模型、方法与技术应用于分析我国金融交易数据和解决我国金融的实际问题,真正体现量化分析技术的实用性。

本书适用于研究生、高年级本科生以及经济金融相关方面的研究人员和从业人员等。读者既可加深对金融投资、计量经济学、统计学等相关理论、模型与方法的理解和掌握,也可增强MATLAB的实践操作与算法开发能力、金融建模与数据分析能力,进而增强运用金融量化技术去分析和解决金融实际问题的能力。

在本书的撰写过程中,作者得到了美国斯坦福大学、厦门大学和中山大学众多朋友、同事和学生的大力支持与帮助,在此向他们表示衷心感谢。尤其要感谢清华大学出版社的陆滢晨编辑,本书的成功出版离不开她的鼓励和帮助。本书受“中山大学研究生课程建设试点项目”资助。虽然作者在撰写过程中倾注了大力精力和时间,但是由于自身学识、能力和思考问题的角度等存在局限性,书中不足之处在所难免,真诚地希望广大读者不吝批评指正。



目录

第 1 章 导论	1
1.1 金融量化科学发展	1
1.2 相关基础概念	2
1.3 资本市场行为理论	7
1.4 金融量化分析软件	11
1.5 思考题	13
第 2 章 MATLAB 操作基础	14
2.1 MATLAB 发展历程及主要特性	14
2.2 MATLAB 窗口界面	15
2.3 MATLAB 常用命令与函数	17
2.4 MATLAB 数据工作	19
2.5 MATLAB 主要工具箱简介	25
2.6 思考题	38
第 3 章 MATLAB 编程基础	40
3.1 M 文件编辑—调试器	40
3.2 M 文件的类型、结构及编程规则	41
3.3 M 文件的运行与调试	46
3.4 有用编程技巧	48
3.5 MATLAB 与外部程序的交互	50
3.6 思考题	53
第 4 章 金融数据基础分析	54
4.1 金融数据获取平台	54
4.2 金融数据预处理	62
4.3 金融收益率计算	69
4.4 金融数据可视化	72

4.5	金融数据基础统计分析	83
4.6	金融数据抽样分析	87
4.7	思考题	90
第 5 章	金融收益分布特征	91
5.1	概率分布基础	91
5.2	稳定分布族	104
5.3	金融收益分布的检验与拟合	111
5.4	思考题	120
第 6 章	金融数据高级统计分析	121
6.1	相关分析	121
6.2	回归分析	128
6.3	主成分与因子分析	151
6.4	支持向量机	161
6.5	思考题	166
第 7 章	金融时间序列分析与建模	168
7.1	金融时间序列的分解	168
7.2	单变量金融时间序列模型	172
7.3	多变量金融时间序列模型	194
7.4	思考题	212
第 8 章	金融波动率预测模型	213
8.1	金融资产价格过程及其波动率	213
8.2	金融波动率预测模型概述	218
8.3	基于历史波动率的预测	221
8.4	基于条件波动率的预测	230
8.5	金融波动率预测绩效评价	239
8.6	思考题	244
第 9 章	组合优化与资产定价模型	246
9.1	优化模型及 MATLAB 求解函数	246
9.2	资产组合与配置模型	252
9.3	资本资产定价模型	265
9.4	多因子定价模型	278
9.5	期权定价模型	284
9.6	债券定价模型	286

9.7 思考题	288
第 10 章 市场有效性与事件研究	289
10.1 有效市场的含义与类型	289
10.2 市场有效性的检验	291
10.3 事件研究及其应用	296
10.4 思考题	308
第 11 章 金融时间序列的长记忆性	309
11.1 长记忆过程	309
11.2 长记忆性参数估计方法	316
11.3 我国股票市场收益与波动序列的长记忆性测定	322
11.4 思考题	326
参考文献	328

1.1 金融量化科学发展

1.1.1 历史发展回顾

在大多数经济系统中,价值可以通过市场供求匹配过程来获得。金融在其中发挥作用,提供了风险管理和在时空上优化资源。与经济学一样,金融就其本质而言,是定量的。量化分析(Quantitative Analysis)对于金融研究与实务而言显得越来越重要。现代金融的发展与应用离不开量化分析。尽管量化分析在金融、管理、行为、心理等各个学科领域均广泛存在,但是量化分析在金融领域中的发展最为迅速,应用最为普遍。金融量化分析的目的在于运用数学、统计、计量、计算机等工具与技术对金融市场所存在的各种问题和所出现的各种现象进行分析和建模,不仅包括对金融市场各交易变量(如价格、交易量、波动率等)进行相应的分析和建模,而且包括实证金融和连续金融的主要成果。定量数据和分析工具是金融量化分析的两个核心要素。金融量化分析在过去的十多年中取得了快速发展和广泛运用,其主要推动因素包括以下几点。

1. 实证研究

理论和模型的正确与否需要依赖于实证研究来证实或证伪,同时通过实证研究来发现新的经济理论,或者修正已有的理论和模型。数量模型能以精确的方式概括经济理论的本质,能够极大简化复杂的逻辑分析。从未来研究的发展趋势看,经济理论的实证证明需要进行模型化,国内外的学术论文和毕业论文一般都要求数量分析。

2. 金融数据

定量数据是金融量化分析必需的原料。金融数据的开发与运用在近十年得到了飞速发展,诸如 Wind、CSMAR 等国内金融数据库和诸如 CRSP、Compustat、Bloomberg、WRDS 等国外金融数据库均有较大发展,从基础资产的交易数据拓展到衍生资产的交易数据,从日、月、季、年等低频数据拓展到分时和分笔数据,从国内数据拓展到国际数据。因此,金融数据库提供的数据种类和结构均有大幅度变化,为金融量化分析奠定了扎实的数据基础。

3. 计量技术

计量技术是金融量化分析必需的工具,包括模型、方法和算法。2003 年度的诺贝尔经济学奖授予了两位著名的金融计量经济学家 Robert Engle 和 Clive Granger,以表彰他们分别用“随着时间变化的易变性”(ARCH 模型,20 世纪 80 年代)和“共同趋势”(协整理论,20 世纪 70 年代)两种新方法分析经济时间序列。瑞典皇家科学院的公告称:“这两位金融计量经济学家不仅是研究员们学习的光辉典范,而且也是金融分析家的楷模,他们不

仅为研究员们提供了不可或缺的工具,还为分析家们在资产定价和投资配置风险评估方面找到了捷径。”从此,金融计量学日益受到关注和重视,近几年发展也十分迅速,已经在金融和经济学科体系中占有十分重要的地位。金融计量技术的快速发展和成熟体系为金融量化分析奠定了良好的工具基础。

4. 计算机技术

近 10 年来的计算机技术(含硬件和软件)发展大大提高了金融数据的存储与处理能力,促进了金融量化分析软件的开发与应用。金融量化分析离不开分析软件的使用。MATLAB、R、Python、Eviews、SAS、SPSS、STATA、MINITAB 等都是常用的软件工具,尽管它们在许多方面存在一些差异,但是都可用来完成相应的金融量化分析工作。

1.1.2 未来发展趋势

近几年来,金融业呈现崭新的发展态势。随着新一代信息通信技术的发展,余额宝、P2P、网络金融社区等基于互联网平台的新型机构正在迅速崛起。2013 年以来,互联网金融作为一种新的金融模式获得了快速发展,对传统金融运营模式造成了颠覆性的影响。2016 年以来,金融科技逐渐成为金融业发展的新趋势,诸如高盛、摩根大通、谷歌、苹果、Facebook 等行业巨头的涉足,巨额资本的涌入,让金融科技类投资成为全球增长最快的领域。无论互联网金融还是金融科技,数据和技术是其两大核心。

在互联网金融和金融科技发展背景下,金融大数据是金融业未来发展的必然态势。根据维基百科定义,大数据是指体量巨大、结构复杂的数据集合,是无法通过人工或目前主流软件工具在合理时间内达到截取、管理、处理并可以被人类解读的信息。大数据的基本特征可用“4V”来概括:Volume(量级极大)、Velocity(获取及处理速度极快)、Variety(数据多样性)和 Veracity(真实性)。金融大数据将促进金融理论与金融实务的持续创新与发展,推动金融技术的开发与运用,重塑金融业的核心竞争力,以及催生金融模式的新变革。

在大数据时代,一切信息将变得可量化,除了统计数据,文字、声音、影像、方位、情绪乃至思考都变得可量化。在大数据时代,全样本数据获取将变得可行,对数据精确性的要求更高,对分析和预测的时效性要求更高。在大数据时代,不仅数据收集、存储和传送技术面临新的挑战,而且金融量化分析面临新的挑战。如何根据大数据的特点研究和应用新的量化分析方法是未来值得深入研究的主题。

1.2 相关基础概念

1.2.1 金融体系及其构成

金融体系是任何一个经济体系的重要组成部分,在经济体系的稀缺资源(包含土地、管理技能和资本等)配置中起着重要作用。一个完整的金融体系由金融市场、金融参与者、金融工具以及交易规则四大部分组成,其一般结构形式如图 1.1 所示。图中顶部路线表示直接金融市场,借方在金融市场(以证券市场为主)出售证券直接从贷方获得资金,直

接融资市场的交易通常由经纪人、券商等金融机构安排,此类金融机构仅起牵线搭桥的作用并收取佣金,自身并不参与交易,资产负债表并不反映该交易。图中底部路线表示间接金融市场,金融中介(以银行为主)通过向贷方借款,然后将这些资金贷给借方,间接融资市场的金融机构自身是借方和贷方的交易对手,资产负债表反映该交易。

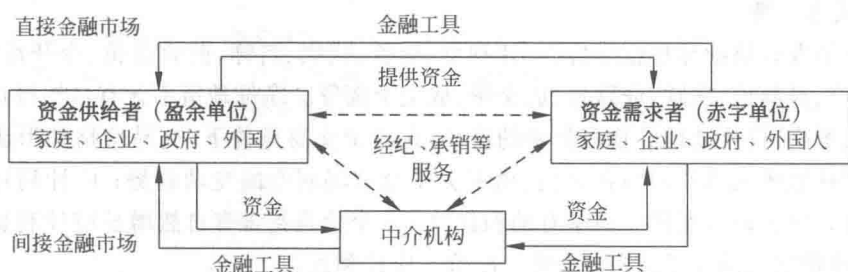


图 1.1 金融体系结构

1. 金融市场

金融市场是指所有市场参与者进行金融资产交易的交易场所,可以是有形场所(如具体交易场地),也可以是无形场所(如计算机网络、交易供求关系、运行机制等)。根据资产期限长短,金融市场可分为货币市场与资本市场。货币市场是指期限在一年以内、以短期金融工具为媒介进行资金融通和借贷的市场,主要分为同业拆借市场、票据市场、大额可转让定期存单市场(CD 市场)、国库券市场、消费信贷市场和回购协议市场六个子市场。资本市场是指以期限在一年以上的金融资产为交易对象的中长期金融市场,主要分为中长期信贷市场、债券市场、股票市场、基金市场、保险市场、融资租赁市场六个子市场。我国资本市场从 1990 年沪深两市开办至今,已形成了主板、中小板、创业板、新三板(含三板)市场、产权交易市场、股权交易市场等多种股份交易平台,具有了发展多层次资本市场的雏形,其结构呈现“倒金字塔”的形状。

2. 金融机构

金融机构是指专门从事各种金融活动、提供各种金融服务的企业统称,是金融市场中最重要中介机构。依据 2012 年 2 月 IMF 修订的《货币与金融统计手册》,金融机构可分为中央银行、除中央银行以外的存款机构、货币市场基金、货币市场基金以外的投资基金、除保险公司和养老金以外的其他金融中介、金融辅助机构、受限制性金融机构和货币放款人、保险公司、养老金九大类。根据中国人民银行 2010 年发布的《金融机构编码规范》,我国金融机构分为货币当局、监管当局、银行业金融机构、证券业金融机构、保险业金融机构、交易及结算类金融机构、金融控股公司、其他金融机构八大类。

3. 金融资产

金融资产是指为获得资金而发行的各种书面凭证,是金融市场的交易对象,有时亦称为金融工具、金融产品、金融合约。狭义的金融资产是标准化的、在金融市场上具有可转让性和流通性的金融资产或有价证券,如国债、股票等;广义的金融资产还包含存款单和贷款单等金融资产,它们不直接具有市场流通性。金融资产根据其性质可划分为债务金融资产、权益金融资产(含混合性资产)、衍生金融资产等。债务金融资产包括贷款、国库

券、国债、公司债、票据、大额可转让存单等,权益金融资产包括普通股、优先股、可转换债券等,衍生金融资产包括远期、期货、期权、互换等基本形式。

1.2.2 金融交易行情

1. 债券行情

单只债券行情指标包括净价、应计利息、全价、代码、名称、前收盘价、今开盘价、最高价、最低价、最新价、涨跌、涨跌幅、成交量、成交金额等。净价是指不含有自然增长应计利息的成交价格,仅反映债券自身价格的波动,在净价交易条件下,交易价格的形成及变动能够更准确地体现债券的内在价值、供求关系及市场利率的变动趋势;应计利息是指债券的持有人享受持有期间应该享有的利息收入;全价是指含有自然增长应计利息的成交价格,与净价之间的关系式为:全价=净价+应计利息。

债券指数是反映债券价格综合变动趋势的一种统计指数。目前国际上知名的债券指数系列主要有雷曼兄弟综合债券指数系列、美林国债/企业债指数系列、所罗门兄弟投资级债券指数系列、摩根士丹利资本国际债券指数系列、汇丰银行亚洲债券指数系列和道琼斯公司债券指数系列等。我国债券指数系列主要有银行间债券指数系列(全国银行间同业拆借中心,2002)、上证债券指数系列(上交所,2003)、深证债券指数系列(深圳证券信息有限公司)、中证债券指数系列(中证指数有限公司,2005)、中债指数系列(中央国债登记结算有限责任公司,2003)、中信债券指数系列(中信集团,1999)、中国银行银债指数系列(中国银行,2002)等。

2. 股票交易行情

个股行情指标包括代码、名称、前收盘价、今开盘价、最新价、最高价、最低价、涨跌、涨跌幅、成交量、成交金额、振幅、换手率、量比、委比、流通股本、总股本、流通市值、总市值、市盈率、市净率、实时最高 5 个价位买入申报价和数量、实时最低 5 个价位卖出申报价和数量等,如表 1.1 所示。

表 1.1 指数和个股分时走势图基本信息一览

	指标名称	注 释
指数分时 走势图	指数点值	纵轴刻度表示指数点数,以白色曲线表示,数值大小分别以红色、白色、蓝色或绿色表示
	交易时间	横轴刻度表示交易时间,按分钟标示,反映一天内的走势情况
	涨跌幅度	指数涨跌/前日收盘价,以红色柱线表示上涨波段,蓝色(或绿色)柱线表示下跌波段,数值表示颜色与指数相同,其中,指数涨跌=当前指数-前日收盘价
	成交量	纵轴刻度表示成交量,以黄色表示,单位为手(1手=100股)
	走势图右边信息	最新指数、涨跌、涨跌幅度、总成交额、总成交量、前收盘价、今日开盘价、今日最高价、今日最低价、上涨家数、平盘家数、下跌家数、各时点上的指数点和成交量明细、即时走势图
	走势图下方信息	沪市上证指数的最新指数点、涨跌、涨跌幅度以及总成交额;深市深证成分指数的最新指数点、涨跌、涨跌幅度以及总成交额;沪深市沪深 300 指数的最新指数点、涨跌、涨跌幅度以及总成交额

	指标名称	注 释
个股分时 走势图	成交价	以白色曲线表示,数值以红色、白色、蓝色或绿色表示
	时间	按分钟标示,反映一天内的走势情况
	均价	总成交额/总成交股数,以黄色曲线表示
	股价涨跌幅度	数值以红色、白色、蓝色或绿色表示
	成交量	以黄色柱线表示,数值以黄色表示
	委比	以相对值表示为(委买手数-委卖手数)/(委买手数+委卖手数)×100%,或以绝对值表示为委买手数-委卖手数
	换手率	(日成交量/当日基金份额)×100%
	量比	量比=(现在总手数/当前已开始交易的分钟总数)/(5日平均总手数/240)
	外盘	主动性买盘,以红色表示
	内盘	主动性卖盘,以蓝色或绿色表示
	市盈率	股票总市值/同期公司账面净利润
	市净率	股票总市值/同期公司账面净资产
	EPS	每股盈利(Earnings per Share)
	其他信息	前五名委卖价格和手数、前五名委买价格和手数、现价、均价、涨跌、涨跌幅度、开盘价、最高价、最低价、总成交量(总手)、现成交量(现手)、总成交额

股票价格指数(简称股票指数)是指由证券交易所或金融服务机构编制的反映股票市场平均价格水平变动的一种统计指数。目前,国际最为知名的四家全球性指数公司为道琼斯(Dow Jones)公司、标准普尔(Standard & Poor's)公司、摩根士丹利资本国际(MSCI)公司和富时(FTSE)公司。目前全球著名股票指数系列主要包括:标准普尔股票指数系列(美国)、道琼斯股票指数系列(美国)、纳斯达克股票指数系列(美国)、纽约证交所股票指数系列(美国)、日经股票指数系列(日本)、金融时报股票指数系列(英国)、恒生股票指数系列(中国香港)等。我国专业指数公司包括中证指数有限公司、深圳证券信息有限公司等。我国股票指数系列主要包括上证股票指数系列、深证股票指数系列和中证股票指数系列等。道琼斯工业平均价格指数(Dow Jones Industrial Average, DJIA)、标准普尔 500 指数(Standard & Poor's 500 Index, S&P500)和纳斯达克 100 指数(NASDAQ 100 Index)合称“美国三大股指”。伦敦金融时报 100 指数(FTSE 100 Index, 简称富时 100 指数)、德国 DAX 指数、法国 CAC40 指数合称“欧洲三大股指”,上证指数、深证成指和沪深 300 指数合称“中国三大股指”。

1.2.3 随机变量及矩

随机变量(Random Variable)是指根据不同概率取不同值的变量,可划分为离散型随机变量和连续型随机变量,前者仅取有限个特定值,后者可取某区间内的任意值。许多金融指标具有不确定性,可看作随机变量,比如,金融资产价格、金融资产收益等。描述随机变量的统计特征可通过直方图或概率分布曲线进行刻画,也可通过数学期望、方差、偏度、

峰度等统计量进行描述。

随机变量 X 的 p 阶矩和中心矩分别定义为

$$m'_p = E(X^p) = \int_{-\infty}^{\infty} x^p f(x) dx \quad (1.1)$$

$$m_p = E[(X - \mu_X)^p] = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu_X)^p f(x) dx \quad (1.2)$$

其中, $\mu_X = E(X)$ 为随机变量 X 的数学期望。

在统计学上,均值、方差、偏度和峰度分别对应各阶矩形式。均值(Mean)(记为 μ_X)对应于随机变量 X 的一阶矩,用于测定随机变量的平均水平或集中趋势;方差(Variance)(记为 σ_X^2)对应于随机变量的二阶中心矩,用于测定随机变量的波动或离散程度;偏度(Skewness)(记为 S_X)对应于标准化的三阶中心矩,用于测定随机变量分布的有偏程度;峰度(Kurtosis)(记为 K_X)对应于标准化的四阶中心矩称,用于测定随机变量分布的尖峰厚尾程度。它们的定义分别为

$$\mu_X = E(X) \quad (1.3)$$

$$\sigma_X^2 = E[(X - \mu_X)^2] \quad (1.4)$$

$$S_X = E\left[\frac{(X - \mu_X)^3}{(\sigma_X)^3}\right] \quad (1.5)$$

$$K_X = E\left[\frac{(X - \mu_X)^4}{(\sigma_X)^4}\right] \quad (1.6)$$

1.2.4 时间序列及滞后、差分算子

1. 时间序列

时间序列(Time Series)是按照时间顺序排列的一系列数值,简记为 $\{y_t\}_{t=1}^T$ 。图 1.2 表示的是开市至 2015 年 12 月 31 日期间的上证日收盘价序列。由于 y_t 是随机变量 Y_t 在时间 t 上的一次取值,因此,时间序列 $\{y_t\}_{t=1}^T$ 是一系列随机变量 $\{Y_t\}_{t=1}^T$ 分别在时间 1, 2, \dots , T 上的一次取值。时间序列是多种因素综合作用的结果,在每个时点的影响因素可能是不一样的。

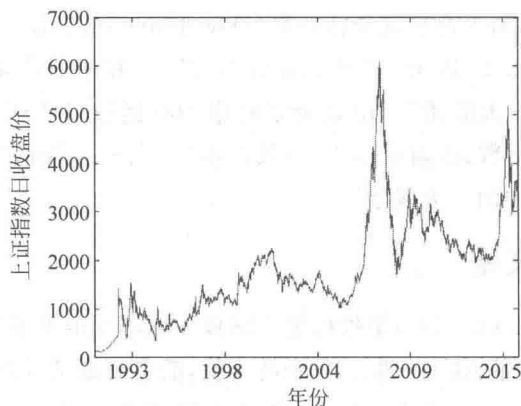


图 1.2 上证指数日收盘价序列

时间序列建模的目的在于找到一个合适的生成过程来刻画时间序列的特性。用于刻画时间序列的数据生成过程的统计模型通常称为随机过程。从随机过程产生的时间序列可能是离散的或者连续的,对时间序列的实际样本序列进行建模,能够刻画数据的高维和依赖性等特性。

2. 滞后算子

滞后(Lag 或 Back)表示时间序列以时间 t 为起点向后取值。若记 L (或 B)为滞后算子,则各期滞后表示如下:一期滞后, $Ly_t = y_{t-1}$;二期滞后, $L^2 y_t = y_{t-2}$;...; k 期滞后, $L^k y_t = y_{t-k}$ 。

滞后算子具有以下性质:

(1) 对于与 t 无关的随机变量,有 $Ly = y$;

(2) 对于整数 n 和常数 a ,有 $L^n(ay_t) = aL^n(y_t) = ay_{t-n}$;

(3) 对于整数 n 和 m ,有 $L^{n+m}(y_t) = L^n[L^m(y_t)] = y_{t-n-m}$;

(4) 对于多项式 $\Theta(z) = \sum_{j=0}^p c_j z^j$,有 $\Theta(L)(y_t) = \sum_{j=0}^p c_j y_{t-j}$;

(5) 对于多项式 $\Theta(z) = \sum_{j=0}^p c_j z^j$ 和 $\Phi(z) = \sum_{j=0}^q d_j z^j$ 的乘积 $A(z) = \Theta(z)\Phi(z)$,有 $A(L)(y_t) = \Theta(L)[\Phi(L)(y_t)] = \Phi(L)[\Theta(L)(y_t)]$;

(6) 对于序列 x_t 和 y_t ,多项式 $\Psi(z) = \sum_{j=0}^p c_j z^j$ 和随机变量 U, V 和 W ,有 $\Psi(L)(Ux_t + Vy_t + W) = U\Psi(L)(x_t) + V\Psi(L)(y_t) + W\Psi(1)$ 。

3. 差分算子

差分(Difference)是指时间序列的后期值与前期值之差。若记 Δ 为差分算子,则一阶差分表示为 $\Delta y_t = y_t - y_{t-1} = (1-L)y_t$, d 阶差分表示为 $\Delta^d y_t = \Delta^{d-1} y_t - \Delta^{d-1} y_{t-1} = (1-L)^d y_t$ 。

1.3 资本市场行为理论

1.3.1 有效市场理论

1. 有效市场的含义

一个有效的资本市场是指这样一个市场:该市场上的交易资产的价格能够充分、及时、准确地反映所有相关信息。在各学科下,资本市场有效性具有不同的含义:在经济学上,资本市场的交易资产价格处于均衡状态;在统计学上,资产价格序列的变动没有统计意义上的任何趋势性或规律性,具有独立、正态、线性等统计特征;在信息学上,信息分布和传播是均匀的,投资者能及时、快速地获得相关信息,即任何投资者在同一时间所获得的信息是等量和等质的——公开、公正、公平;在投资学上,任何人在任何时间都不能利用任何方式获取超常或超额收益,即市场上不存在使得任何投资者可以获得超常收益的机会,不存在任何套利和投机机会;在金融学上,资产价格在资本市场上发挥信号作用,能够及时、准确地引导资源(资金)达到最佳配置。

2. 有效市场理论的基本假定

有效市场理论的基本假定包括：①市场是一个无摩擦的、完备的，而且具有高流动性的市场，保证市场交易和信息传递能顺利进行；②市场中存在具有相同理性预期的大量投资者，他们能免费、及时、准确地获得市场信息，并对信息能做出及时的反应，可以迅速将信息反映到价格中去；③市场价格对新出现的重要信息能做出迅速反应，并进行相互独立的调整。因此，在一个有效市场上，价格或收益序列是相互独立的，而且服从正态分布。原因在于：投资者与价格或收益对信息能够及时、线性、有效、一致地消化吸收，今天的价格或收益并不受以前信息的影响，只有今天的新信息出现才会发生变化，这就导致今天的价格或收益与以前的价格或收益是相互独立的。而且，根据中心极限定理，只要数量足够多，它们的分布将趋近于正态分布。

3. 有效市场理论的挑战

有效市场无法解释这样一些事实：①无法解释金融市场存在许多异象，比如小公司效应、BTM 效应、P/E 效应、周末效应等；②无法解释股市崩溃现象，比如 1987 年的“黑色星期一”。因此，有效市场理论存在问题，原因在于其假设条件不符合实际市场真实情况，过度简化现实，从而无法揭示市场的复杂特性。

首先，并不是所有的投资者都是完全理性的。现实市场中的投资者具有不同的偏好和投资水平，对市场走势有着不同的预期，对于股票价值有着不同的判断。在真实市场中，人们也并不是理性地认为作为总体比作为个体更具理性。

其次，现实市场并非一个无交易成本的市场，而且并不一定能一直保持高流动性，这样大幅波动的小概率事件就会发生，实际收益分布的尖峰厚尾特征可得到表征。

再次，投资者和价格对信息的反应并非总是及时、线性的，而是完全有可能在接收到信息时并不做出反应，等信息累积到一定程度时才会做出反应，这种反应机制是非线性的。

鉴于有效市场理论无法有力地解释金融市场的非线性本质特征和金融市场中所出现的种种现象，自 20 世纪 80 年代以来，为寻找对金融市场具有更强解释力的新理论和新模型，众多学者已从不同的角度做了许多积极的探索，并取得了巨大的进展。诸如分形、混沌、心理学等理论和方法在金融市场研究中的应用逐渐深入。

一是，突破有效市场理论的投资者理性假设，形成了行为金融理论 (Behavioral Finance Theory, BFT)。该理论从金融市场交易资产价格的变动趋势和投资者的心理行为入手，考察了为什么存在超常收益。该理论认为，资产价格的变动是可预测的，投资者有可能获取超常收益。

二是，突破有效市场理论的独立、线性、正态、静态等假定，提出分形市场理论 (Fractal Market Theory, FMT)。该理论认为，资本市场是由大量的、具有不同投资期限的投资者组成的，市场信息对各种不同投资者的交易时间有着不同的影响。资产价格的变动不是随机游走，而是具有增强趋势的持续性，今天或未来的资产价格变动与初始状态之间并非相互独立，而是持续相关的。分形市场理论的提出尽管使理解金融市场的问题变得复杂得多，但是也现实得多，更加符合金融市场的实际统计特性。

1.3.2 分形市场理论

1. 分形市场的基本含义

分形市场理论是分形理论在金融市场中的直接应用。“分形市场”概念是由 Edgar E. Peters 在 1994 年出版的 *Fractal Market Analysis: Applying Chaos Theory to Investment and Economics* 一书中首先提出的。分形市场的基本含义包含：

(1) 市场由众多的投资者组成,而且不同投资者具有不同的投资期限。市场活动须有大量的投资者参与,这是显然的。投资者的特性决定他们不同的投资期限,有些投资者每天必须进行交易,有些投资者一直进行频繁交易,有些投资者一年后才需要进行交易,等等。

(2) 信息会对不同的投资者产生不同的影响。具有不同投资期限的投资对不同信息的反应是不同的。短期投资者主要注重历史信息,基本遵循技术分析,而较长期投资者更偏重基础信息。对短期投资者很重要的信息对长期投资者可能并不显得重要,同样,对长期投资者产生重要影响的信息可能对短期投资者并没有什么影响。因此,不同类型的市场信息对不同投资期限的投资者的重要程度是不一样的,且会产生不同的影响。任何时间的股价也许不是反映了所有公开的信息,而仅是反映了对于特定投资期望水平的重要信息。

(3) 市场的稳定性主要取决于市场的流动性。市场和投资者均需要流动性,因为流动性能够确保具有不同期限的投资者能迅速有效地进行交易,而且以接近市场公认的公平价格进行交易,即使当供给与需求不均衡时,市场也不会出现恐慌或混乱局面。然而,当缺乏流动性或流动性低时,即使具有极高的交易量,也会动荡或混乱事件发生。在分形市场中,投资者的不同投资期限、对不同投资者产生不同影响的信息集和接近市场公认的公平价格确保了市场的充分流动性,从而稳定了整个市场。

(4) 价格反映了短期技术与长期基本分析的结合。短期价格变化似乎比长期价格变化更具易变性,或者具有更大程度的“噪音”。市场的主要变化趋势是由宏观经济环境决定的预期收入的变化来反映的,而短期投资者行为更多地表现为“羊群效应”,短期的价格变化趋势与长期的经济因素无关。

(5) 如果某项资产与经济周期循环无关,那么它就不具有长期趋势。它的波动主要由交易量、流动性和短期信息决定。

2. 分形市场理论的重要意义

(1) 分形市场理论为市场真实特性提供强有力的解释。有效市场理论不能解释股票市场的恐慌和崩溃现象。因为有效市场理论假定市场总是具有足够的流动性,价格序列的变化是连续和均匀的,大幅波动的变化是小幅波动的变化的累加,在这种假定下,市场不会出现恐慌和混乱,从而市场收益分布不可能出现尖峰厚尾特征。而分形市场理论为此提供了合理的解释,它认为:当存在大量具有不同投资期限的投资者时,股票市场就维持稳定;而当所有投资者的投资期限变成同一时,市场由此缺乏流动性而成为“自由落体”,即价格序列呈现不连续性的波动,市场表现为恐慌与混乱。价格序列的不连续波动导致大的变化,从而使收益分布呈现厚尾特性。